

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(6)

(11)Publication number : 2002-058231
 (43)Date of publication of application : 22.02.2002

(51)Int.Cl.

H02K 37/04

(21)Application number : 2000-240691
 (22)Date of filing : 09.08.2000

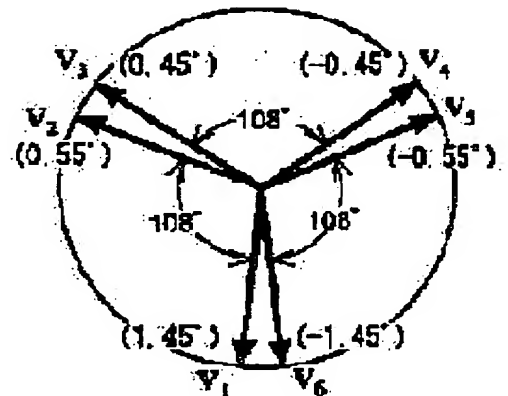
(71)Applicant : JAPAN SERVO CO LTD
 (72)Inventor : ONISHI KAZUO
 SAKAMOTO MASABUMI
 ISOZAKI KOKI

(54) THREE-PHASE HYBRID STEPPING MOTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve the problem of a vernier method, which has not had an significant study and effect yet, making the pitches of denticles for a stator and denticles for a rotor unequal, and which has been developed to reduce distortion in cogging torque and current torque of a three-phase hybrid stepping motor, and to clarify the theory of the vernier method, thereby providing a new vernier method capable of attaining higher degree of freedom and effectiveness.

SOLUTION: In this stepping motor, cogging torque of a three-phase hybrid stepping motor is considered to be generated due to regularity of variations in permeance between denticles provided on a magnetic pole of a stator and a magnetic pole of a rotor changing with the rotation of the rotor. Six denticles provided on the end of the stator are divided into two groups of three denticles and the sum of the permeance vectors of the three respective denticles on a third higher harmonic plane is set so as to be zero substantially. The sum of the permeance vectors of the two denticles corresponding between two groups on a fifth higher harmonic plane is set so as to be zero substantially.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal for application]
 [Patent number]
 [Date of registration]
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-58231

(P2002-58231A)

(43) 公開日 平成14年2月22日 (2002. 2. 22)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 2 K 37/04

識別記号

5 0 1

F I

H 0 2 K 37/04

データベース*(参考)

5 0 1 E

5 0 1 K

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2000-240691 (P2000-240691)

(22) 出願日 平成12年8月9日 (2000. 8. 9)

(71) 出願人 000228730

日本サーボ株式会社

東京都千代田区神田美土代町7

(72) 発明者 大西 和夫

群馬県桐生市相生町3-93番地 日本サーボ株式会社研究所内

(72) 発明者 坂本 正文

群馬県桐生市相生町3-93番地 日本サーボ株式会社桐生工場内

(72) 発明者 磯崎 弘毅

群馬県桐生市相生町3-93番地 日本サーボ株式会社桐生工場内

(74) 代理人 100062982

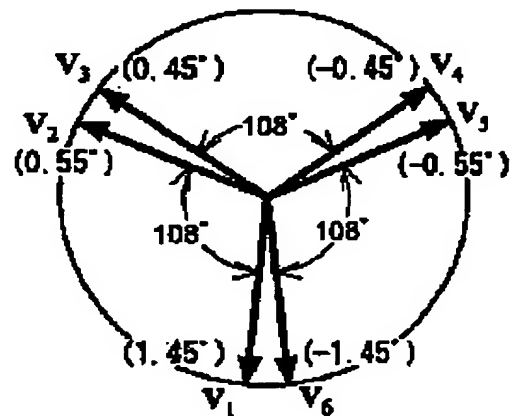
弁理士 澤木 誠一 (外1名)

(54) 【発明の名称】 3相ハイブリッド形ステッピングモータ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 従来から3相ハイブリッド形ステッピングモータのコギングトルクと電流トルク歪みを減少させるために、固定子の小歯と回転子の小歯のピッチを不等にするバーニア方式が検討されていたが、未だ十分な検討がなされず十分な効果が得られていなかった。そこで本発明においては、このバーニア方式の理論を解明し、更に自由度の高い有効なバーニア方式を得るのが目的である。

【解決手段】 本発明においては、3相ハイブリッド形ステッピングモータのコギングトルクの発生原因を、固定子磁極と回転子磁極とに設けられた小歯間のパーミアンスが回転子の回転に伴い変化しその変化がある規則性によるものと考え、固定子磁極の先端に設けられる6個の小歯を3個の小歯の組2群で構成し、各組の3個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、2群間で対応する2個の小歯のパーミアンスの第5次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が、実質的に零となるように配置する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を2個の小歯の組の少なくとも3群で構成し、それぞれの組の2個の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように夫々の組間的小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする3相ハイブリッド形ステッピングモータ。

【請求項2】 略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を3個の小歯の組の少なくとも2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内的小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする3相ハイブリッド形ステッピングモータ。

【請求項3】 略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を、2個の小歯の組の少なくとも3群で構成し、それぞれの組の2個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように夫々の組間的小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする3相ハイブリッド形ステッピングモータ。

【請求項4】 略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等

ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を、3個の小歯の組の少なくとも2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内的小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする3相ハイブリッド形ステッピングモータ。

【請求項5】 略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を3個の小歯の組の少なくとも2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、各組の小歯の第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内的小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする3相ハイブリッド形ステッピングモータ。

【請求項6】 略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を3個の小歯の組の少なくとも2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、各組の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内的小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする3相ハイブリッド形ステッピングモータ。

【請求項7】 略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピ

ッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を3個の小歯の組2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、2群間で対応する2個の小歯のパーミアンスの第5次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする3相ハイブリッド形ステッピングモータ。

【請求項8】 略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を3個の小歯の組2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第5次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、2群間で対応する2個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする3相ハイブリッド形ステッピングモータ。

【請求項9】 略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に奇数個の少なくとも7個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも7個の小歯を3個の小歯の組と2個の小歯の少なくとも2組の少なくとも3群で構成し、それぞれの組の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように配置したことを特徴とする3相ハイブリッド形ステッピングモータ。

【請求項10】 略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に奇数個の少なくとも7個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化

した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも7個の小歯を3個の小歯の組と2個の小歯の少なくとも2組の少なくとも3群で構成し、それぞれの組の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように配置したことを特徴とする3相ハイブリッド形ステッピングモータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は3相ハイブリッド形ステッピングモータに係り、特に6個の巻線極を備えたものにおいて、コギングトルクを減少させることができると共に、併せて電流波形を改善できる構造の3相ハイブリッド形ステッピングモータに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来から実施されている3相ハイブリッド形ステッピングモータには図1A～図1Cに示すように巻線極が12個のものと、図2A～図2Cに示すように6個のものとがある。

【0003】基本的な構成はほぼ同じで、図1A、図1B及び図1Cに示すものでは略円環状ヨーク1の内周に12個の磁極2を等間隔に配置し、該磁極2の夫々に巻線3を巻装して3相巻線を形成し、該磁極2の先端に複数的小歯4を設けた固定子5と、該固定子5と空隙を介して対向し、その外周に複数的小歯6を等ピッチで設けた2個の回転子磁極7を、前記小歯6の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石8の端面に固着した回転子9とより成り、上記回転子9を回転自在に軸支したものである。各回転子磁極7に設けた小歯の数は50個である。

【0004】これに対し、図2A～図2Cに示したものは固定子磁極7が6個で回転子磁極に設けた小歯は40個である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来から3相ハイブリッド形ステッピングモータのコギングトルクと電流トルク歪みを減少させるために、固定子的小歯と回転子的小歯のピッチを不等にするバーニア方式が検討されていたが、未だ十分な検討がなされず十分な効果が得られていなかった。そこで本発明においては、このバーニア方式の理論を解明し、更に自由度の高い有効なバーニア方式を得るのが目的である。

【0006】図1A～図1Cに示した巻線を巻装した磁極（以後巻線極と称す）12個のものでは、磁束が同じ相内を循環し他相の巻線と鎖交しないのに対し、図2A～図2Cに示す6巻線極のものでは磁束が複数の相巻線に鎖交する。6巻線極方式は、図示のように構造が簡単で安価に製造できるのみならず、巻線の鎖交磁束が12巻線

極の約2倍となるから、より大きいトルクが得られる特徴があると共に、普通のモータのように各相間の相互インダクタンスが存在するので、コイルの電磁エネルギーを吸収しやすく制御しやすい可能性がある。

【0007】図2A～図2Cにおいて、各相巻線3は対向する180度離れた巻線極のコイルを同方向に直列に接続されている。一方、回転子9の小歯6は、N極側とS極側で山と谷が一致するように180度の位相でねじられて、軸方向に着磁された永久磁石8の側面に取付けられている。

【0008】図3は、図2A～図2Cに示した6巻線極方式の等価磁気回路である。

【0009】図3において、 F_u 、 F_v 、 F_w はU、V、W 相巻線の起磁力、 P_i は i 番目巻線極のパーミアンス（ここでiは1～6）、 F_m 、 P_m は磁石の起磁力と内部パーミアンスである。

【0010】軸対称位置にある巻線極は同一の構成であるから同じ符号を用いた。

【0011】 P_4 、 P_5 、 P_6 は、それぞれ P_1 、 P_2 、 P_3 と逆相（山と谷）関係にあるパーミアンスになっている。また、S極側では磁束の流れがN極と反対になるので、起磁力の極性が負となる。

【0012】図1A～図1Cに示す12巻線極の場合には、4個のサブ回路が全て一致したが、図2A～図2Cに示す6巻線極の場合はN極側とS極側でそれぞれ2個が一致するのみなので、1個のサブ回路に集約することができず、N極およびS極に別のサブ回路を持つ図4の形になる。ここでは、磁石起磁力がN極側とS極側に2分されるものとした。以下、この図4A、図4Bに示した等価回路を利用してコギングトルクと電流トルクの歪みについて検討する。

【0013】発生トルクは巻線極の総合パーミアンスに

$$P_1 = \rho_0 + \rho_1 \cos \theta_e + \rho_2 \cos 2\theta_e + \rho_3 \cos 3\theta_e + \rho_4 \cos 4\theta_e + \rho_5 \cos 5\theta_e + \rho_6 \cos 6\theta_e$$

$$P_2 = \rho_0 + \rho_1 \cos \left(\theta_e - \frac{2\pi}{3} \right) + \rho_2 \cos \left(2\theta_e - \frac{4\pi}{3} \right) + \rho_3 \cos \left(3\theta_e - \frac{6\pi}{3} \right) + \rho_4 \cos \left(4\theta_e - \frac{8\pi}{3} \right) \\ + \rho_5 \cos \left(5\theta_e - \frac{10\pi}{3} \right) + \rho_6 \cos \left(6\theta_e - \frac{12\pi}{3} \right)$$

$$P_3 = \rho_0 + \rho_1 \cos \left(\theta_e - \frac{4\pi}{3} \right) + \rho_2 \cos \left(2\theta_e - \frac{8\pi}{3} \right) + \rho_3 \cos \left(3\theta_e - \frac{12\pi}{3} \right) + \rho_4 \cos \left(4\theta_e - \frac{16\pi}{3} \right) \\ + \rho_5 \cos \left(5\theta_e - \frac{20\pi}{3} \right) + \rho_6 \cos \left(6\theta_e - \frac{24\pi}{3} \right) \dots (5)$$

【0021】また、パーミアンス P_4 、 P_5 、 P_6 は、数6～数9に示すようにそれぞれ P_1 、 P_2 、 P_3 と逆位相（180度位相差）の関係にある。

【0022】

【数6】

$$P_4 = \rho_0 - \rho_1 \cos \theta_e + \rho_2 \cos 2\theta_e - \rho_3 \cos 3\theta_e + \rho_4 \cos 4\theta_e - \rho_5 \cos 5\theta_e + \rho_6 \cos 6\theta_e - \dots (7)$$

【0024】

関係するので、固定子磁極の小歯が回転子小歯と異なるピッチを持つものとしてトルクを計算する。

【0014】6巻線極を持つ3相ハイブリッド形ステッピングモータについて、トルクTの一般式は12巻線極の場合の類推から数1のようになる。ここで、 N_R は回転子の歯数、 F_0 は励磁を含む空隙の起磁力降下、 $2S$ は巻線数（この場合は $S=3$ ）、 θ_e は電気角である。なお、 F_0 は数2のように求められる。

【0015】

【数1】

$$T = N_R \sum_{i=1}^{2S} (F_i - F_0)^2 \frac{dP_i}{d\theta_e} \dots (1)$$

【0016】

【数2】

$$F_0 = \frac{2 \sum_{i=1}^S P_i F_i + P_m F_m}{2 \sum_{i=1}^S P_i + 2P_m} \dots (2)$$

【0017】また、パーミアンス P_1 、 P_2 、 P_3 は、それぞれ120度の位相差を持ち数3、数4、数5のように表される。

【0018】

【数3】

$$P_i = \rho_i + \sum_{j=1}^i \rho_j \cos j\zeta_i \quad (i=1, 2, 3) \dots (3)$$

【0019】

【数4】

$$\zeta_i = \theta_e - (i-1) \frac{2\pi}{3} \quad (i=1, 2, 3) \dots (4)$$

【0020】

【数5】

$$P_{i+2} = \rho_i + \sum_{j=1}^i \rho_j \cos j(\zeta_i - \pi) \quad (i=1, 2, 3) \dots (6)$$

【0023】

【数7】

$$P_1 = \rho_0 - \rho_1 \cos\left(\theta_s - \frac{2\pi}{3}\right) + \rho_2 \cos\left(2\theta_s - \frac{4\pi}{3}\right) - \rho_3 \cos\left(3\theta_s - \frac{6\pi}{3}\right) + \rho_4 \cos\left(4\theta_s - \frac{8\pi}{3}\right) \dots (8)$$

$$- \rho_5 \cos\left(5\theta_s - \frac{10\pi}{3}\right) + \rho_6 \cos\left(6\theta_s - \frac{12\pi}{3}\right)$$

【0025】

【数9】

$$P_1 = \rho_0 - \rho_1 \cos\left(\theta_s - \frac{4\pi}{3}\right) + \rho_2 \cos\left(2\theta_s - \frac{8\pi}{3}\right) - \rho_3 \cos\left(3\theta_s - \frac{12\pi}{3}\right) + \rho_4 \cos\left(4\theta_s - \frac{16\pi}{3}\right) \dots (9)$$

$$- \rho_5 \cos\left(5\theta_s - \frac{20\pi}{3}\right) + \rho_6 \cos\left(6\theta_s - \frac{24\pi}{3}\right)$$

【0026】これらの式より、 P_i の各次数の成分とコギングトルクに寄与する和成分と電流トルクに寄与する成分（U相のみ）を求めると表1のようになる。

【0027】

【表1】

表 1

次数	1	2	3	4	5	6
P_1	$\cos(\theta_s)$	$\cos(2\theta_s)$	$\cos(3\theta_s)$	$\cos(4\theta_s)$	$\cos(5\theta_s)$	$\cos(6\theta_s)$
P_2	$\cos(\theta_s - 2\pi/3)$	$\cos(2\theta_s - 4\pi/3)$	$\cos(3\theta_s)$	$\cos(4\theta_s - 2\pi/3)$	$\cos(5\theta_s - 4\pi/3)$	$\cos(6\theta_s)$
P_3	$\cos(\theta_s - 4\pi/3)$	$\cos(2\theta_s - 2\pi/3)$	$\cos(3\theta_s)$	$\cos(4\theta_s - 4\pi/3)$	$\cos(5\theta_s - 2\pi/3)$	$\cos(6\theta_s)$
P_4	$-\cos(\theta_s)$	$\cos(2\theta_s)$	$-\cos(3\theta_s)$	$\cos(4\theta_s)$	$-\cos(5\theta_s)$	$\cos(6\theta_s)$
P_5	$-\cos(\theta_s - 2\pi/3)$	$\cos(2\theta_s - 4\pi/3)$	$-\cos(3\theta_s)$	$\cos(4\theta_s - 2\pi/3)$	$-\cos(5\theta_s - 4\pi/3)$	$\cos(6\theta_s)$
P_6	$-\cos(\theta_s - 4\pi/3)$	$\cos(2\theta_s - 2\pi/3)$	$-\cos(3\theta_s)$	$\cos(4\theta_s - 4\pi/3)$	$-\cos(5\theta_s - 2\pi/3)$	$\cos(6\theta_s)$
$\sum P_i$	0	0	0	0	0	$6\cos(6\theta_s)$
$P_1 - P_4$	$2\cos(\theta_s)$	0	$2\cos(3\theta_s)$	0	$2\cos(5\theta_s)$	0

(ここで $\sum P_i$ はコギングトルク寄与成分、 $P_1 - P_4$ はU相電流トルク寄与成分である。)

【0028】この表1より、第5次以下の高調波次数によるコギングトルクはゼロになるが、第6次高調波成分は各極とも同相になって残ることになる。従って、コギングトルクを減少させるためには、第6次高調波成分を除去する必要がある。

【0029】一方、U相巻線を考えると、図3の F_1 と F_4 は逆極性に磁束が流れるため、 P_1 と P_4 の効果が差動で加わり、V相では P_2 と P_5 、W相では P_3 と P_6 の効果が差動で加わって鎖交磁束が作られることになる。

【0030】表1より各高調波のフーリエ係数の関係を見ると、差動の場合偶数次高調波は両方が相殺されるが、奇数次高調波はいずれか加算されることがわかる。従って、電流トルクに寄与するU相成分 $P_1 - P_4$ は、偶数次はゼロになり、奇数次のみ残る。V相およびW相も位相が違っただけで同じ値となる。このうち第1次成分は基本波であるが、第3、第5次等は基本正弦波の歪み要因となるので好ましくない。従って電流トルクの波形を改善するためには、第3次成分、ついで第5次成分を除去することが好ましい。

【0031】これによって、6巻線極構成においても12巻線極と全く同じであることがわかる。従って、コギングトルクおよび電流トルク歪みの低減策は、12巻線極の場合と全く同じ手法でよいことになる。

【0032】まず、順序として従来から実施されている小歯を等ピッチで配置した、等ピッチバーニアにおいて検討すると次のようなる。

【0033】1小歯のパーミアンスの第6次高調波成分は数10のようになる。

【0034】

【数10】

$$P_k = a_k \cos 6\theta_s \dots \dots \dots (10)$$

【0035】巻線極の小歯が図5のように配置されたとすると、第4次高調波成分をゼロにするためには数11が成立すればよい。

【0036】

【数11】

$$P_k = \sum_{i=1}^Q a_i \cos 6\theta_k = 0 \dots \dots \dots (11)$$

【0037】ここで、 Q は1巻線極の小歯の数、 θ_k は各小歯の位置（電気角）である。

【0038】従来技術の考え方の等ピッチバーニアでは t_k が等歯幅かつ等間隔で分布し、この場合の第6次高調波平面ベクトルは図6に示すようになる。

【0039】この場合には、各ベクトル V_k が電気角360度を6等分（ $360/6=60$ 度）して分布すればよいことになる。

【0040】このときどのベクトルもかならず軸対称の位置に別のベクトルがあるので、それらが対となって打ち消し合う。この関係を保ちながら、各ベクトルが回転するので、回転中も常にバランスしてゼロとなり数11が成立することになる。

【0041】この角度関係を式で表すと数12のようになる。数12において m はゼロを含む整数である。

【0042】

【数12】

$$\theta_k = m \frac{2\pi}{p} + k \frac{2\pi}{6pQ} \dots\dots k=0, 1, \dots\dots (12)$$

【0043】図2A～図2Cに示す構成で、回転子の歯数=極対数 $p=40$ の場合には、第1項の電気角360度は機械角9度に相当するので、これを基準にして第2項分の機械角0.25度だけずらしながら分布させればよい。0.25は電気角で $0.25 \times 40 \times 6 = 60$ 度となり、対向する位置では $60 \times 3 = 180$ 度になる。等ピッチバーニアでは、通常等歯幅であるが、この理論では対向する歯の幅が等しければ必ずしも全て同一でなくてもよいことになる。

【0044】次に小歯のピッチが異なる場合の不等ピッチバーニアの場合を検討する。

【0045】不等ピッチバーニアの各小歯間のベクトル関係の例を図7A、図7Bに示す。

【0046】図7Aの場合、互いの大きさが違っても、 V_1 と V_4 、 V_2 と V_5 、 V_3 と V_6 という対応する2個のベクトル間でバランスをとれば、全体として数13に示すように $P_{16} = 0$ が成立しコギングトルクも最小化される。

【0047】

【数13】

$$\theta_{Q-k+1} - \theta_k = \frac{1}{6p}(2m\pi + \pi) \quad k=1, 2, 3 \dots\dots (16)$$

【0056】上式で $2m\pi$ は回転子磁極と同じピッチ角にあることを意味するので、結局基準位置からの偏差角 $\delta\theta$ を用いて書き直すと数17、数18、数19となる。

$$\varepsilon = |\delta\theta_{2k} - \delta\theta_{2k-1}| = \frac{\pi}{6p} \quad k=1, 2, 3 \dots\dots (17)$$

【0058】

$$\varepsilon = |\delta\theta_{k+3} - \delta\theta_k| = \frac{\pi}{6p} \quad k=1, 2, 3 \dots\dots (18)$$

【0059】

$$\varepsilon = |\delta\theta_{Q-k+1} - \delta\theta_k| = \frac{\pi}{6p} \quad k=1, 2, 3 \dots\dots (19)$$

【0060】上式で、右辺は、 $p=40$ のとき機械角で0.75度となり、電気角では180度である。この方式による不等ピッチバーニアのコギングトルク消去法を整理すると次の数20、数21、数22のようになる。

【0061】(1) 回転子磁極の小歯数が p の場合、次

$$\varepsilon = |\delta\theta_{2k} - \delta\theta_{2k-1}| = \frac{180}{6p}(\text{機械角}) \quad k=1, 2, 3 \quad (p=40 \text{では} 0.75 \text{度}) \dots\dots (20)$$

【0064】(b) t_1 と t_4 、 t_2 と t_5 、 t_3 と t_6 の各対角対の差角に対して数21が得られる。

$$\varepsilon = |\delta\theta_{k+3} - \delta\theta_k| = \frac{180}{6p}(\text{機械角}) \quad k=1, 2, 3 \quad (p=40 \text{では} 0.75 \text{度}) \dots\dots (21)$$

【0066】(c) t_1 と t_6 、 t_2 と t_5 、 t_3 と t_4 の各軸対称対に対して数22が得られる。

$$P_{16} = \sum_{i=1}^6 P_{16i} = 0 \dots\dots (13)$$

【0048】ここに、 Q は1巻線極の小歯数である。ベクトルは、各対内で相殺する関係(バランス条件)を満たせば、それら各対の配置は任意でよい。これがコギングトルク最小化の原理である。

【0049】バランスさせるベクトルの対応関係は種々存在し、次の3通りが考えられる。

【0050】(1) 隣接する小歯間で数14に示すように

【0051】

【数14】

$$\theta_{2k} - \theta_{2k-1} = \frac{1}{6p}(2m\pi + \pi) \quad k=1, 2, 3 \dots\dots (14)$$

【0052】(2) 対角小歯間で数15に示すように

【0053】

【数15】

$$\theta_{k+3} - \theta_k = \frac{1}{6p}(2m\pi + \pi) \quad k=1, 2, 3 \dots\dots (15)$$

【0054】(3) 中心軸に関して軸対称の小歯間で数16に示すように

【0055】

【数16】

る。

【0057】

【数17】

【数18】

【数19】

式を成立させる。

【0062】(a) t_1 と t_2 、 t_3 と t_4 、 t_5 と t_6 の各隣接対の差角 ε に対して数20が得られる。

【0063】

【数20】

【0065】

【数21】

【0067】

【数22】

$$e = |\delta\theta_{Q-k+1} - \delta\theta_k| = \frac{180}{6p} (\text{機械角}) \quad k = 1, 2, 3 \quad (p=40 \text{では} 0.75 \text{度}) \quad \cdots \cdots (22)$$

【0068】(2) 対応する各小歯の幅は、互いに等しくする。

【0069】ただし図7A、図7Bの場合も実際問題としては、小歯幅は鉄芯の対称性を考えて決める。

【0070】この考え方による小歯配置の試算例を表2に示す。

【0071】

【表2】

表2 (単位: 機械角度)

機種 小歯	基準角	等ピッチ1		試算1		試算2		試算3		試算4	
		δ	歯幅	$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅
t_1	-22.5	+0.625	40%	+0.5625	38%	+0.375	35%	+0.375	40%	+0.55	40%
t_2	-13.5	+0.375	40%	+0.375	42%	+0.375	38%	-0.375	40%	+0.45	40%
t_3	-4.5	+0.125	40%	+0.1875	38%	+0.375	42%	+0.375	40%	+0.05	40%
t_4	+4.5	-0.125	40%	-0.1875	38%	-0.375	42%	-0.375	40%	-0.05	40%
t_5	+13.5	-0.375	40%	-0.375	42%	-0.375	38%	+0.375	40%	-0.45	40%
t_6	+22.5	-0.625	40%	-0.5625	38%	-0.375	35%	-0.375	40%	-0.55	40%
バランス 対称性	隣接極	(0.75)							○		3極 (0.5)
	対角極	(0.75)	○		○				○		
	対称極					○		○			
	対称性		○		○		○		○		○

【0072】表2において基準角度と $\delta\theta$ の和は、小歯 t_k の巻線極中心線からの角度 θ_k になる。また、等ピッチは図6、試算1は図7Aに相当する。試算2は軸対称にして小歯幅を変化させた場合、試算3は全てのケースで差が0.75度になる場合である。

【0073】小歯数が6の場合のいま一つの考え方は、これを3個の組み合わせ二つに分けて、3個の中でバランスをとる方法である。この場合の一例を、図7Bに示す。ここでは、 V_1 、 V_3 、 V_5 と V_2 、 V_4 、 V_6 の組となり、その中では互いに120度差のベクトル関係でバランスしている。表2の試算4は、このときの小歯配置を示す。ここでは、3個のベクトルが等しい歯幅で均等に120度間隔で並んでいるが、この内の1個、例えば V_1 又は V_6 の歯幅を大きくし、他の二つ V_3 、 V_5 または V_4 、 V_6 の間隔を狭くして、3ベクトル間でバランスをとることも可能である。図7Bの巻線極の小歯構成を図8に示す。

【0074】次に電流トルクの第3次高調波成分を除去する方法について検討する。表1より、電流トルクの第3次高調波成分 $2\cos(3\theta_e)$ をゼロにするには、各巻線極内で第3次高調波をバランスさせる必要がある。第3次高調波成分をゼロにするには数23が成立すればよい。

【0075】

【数23】

$$P_{13} = \sum_{i=1}^6 a_i \cos 3\theta_i = 0 \quad \cdots \cdots (23)$$

【0076】ここで、 θ_k は各小歯の位置(電気角)である。

【0077】等ピッチバーニアの場合即ち、小歯分布が等ピッチの場合には、第3次高調波角度 $3\theta_k$ が360度を Q 等分して(この場合は $360/6=60$ 度おきに)分布すればよいことになる。このときの第3次高調波成分のベ

クトル配置を図9Aに示す。これは図6Aと全く同じ形の図になる。図で V_k は角度 θ_k と大きさ a_3 を持つベクトルである。等間隔分布の場合にはどのベクトルも必ず軸対称位置に他のベクトルがあるので、それらが対になって打ち消し合う関係になる。この関係を保ちながら、各ベクトルが回転するので、回転角度が変わっても常にバランスしてゼロとなり数23が成立する。

【0078】この関係を式で表すと数24のようになる。ここで i は巻線極番号(1~6)である。

【0079】

【数24】

$$\theta_a = (i-1)\frac{2\pi}{3p} + k\frac{2\pi}{3pQ} \quad k=1, 2, 3 \quad \cdots \cdots (24)$$

【0080】第1項は電気角360度(極対数40の場合には機械角で9度)を3相に対応して3分割した各巻線極の基準位置である。各小歯は、これを基準にして第2項である偏差0.5度おきに分布すればよい。この場合は $0.5 \times 40 \times 3 = 60$ 度となり、対向する位置は $60 \times 3 = 180$ 度でバランスする関係になる。

【0081】不等ピッチバーニアの場合の、不等ピッチバーニアの各小歯間のベクトルバランス例を図9B、図9Cに示す。図9Bは、対角関係の V_1 と V_3 および V_2 と V_4 をバランスさせた例であるが、これ以外に対称関係の V_1 と V_4 、 V_2 と V_3 あるいは隣接関係の V_1 と V_2 、 V_3 と V_4 をバランスさせてもよい。これらの場合には第3次高調波成分において数25が成立し、バーニアの第3次高調波成分の総計がゼロになる。

【0082】

【数25】

$$\sum_{i=1}^6 P_i = 0 \quad \cdots \cdots (25)$$

【0083】これは、ペアとなる2小歯 i 、 j 間について次数数26が成立することを意味する。この式で m は

0を含む整数である。

【0084】

【数26】

$$\theta_i - \theta_j = \frac{1}{3p}(2m\pi + \pi) \dots \dots \dots (26)$$

【0085】数26で $2m\pi$ はバーニアではない基準となる回転子磁極の歯ピッチの位置を意味するので、結局この基準位置からの偏差角 $\delta\theta$ を用いて書き直すと数27になる。

【0086】

【数27】

$$|\delta\theta_i - \delta\theta_j| = \frac{\pi}{3p} \dots \dots \dots (27)$$

【0087】この式の右辺は、 $p=40$ のとき1.5度となり、電気角で180度である。前の説明した等ピッチの場合

表3 (単位: 機械角 度)

機軸	基準角	等ピッチ2		試算1'		試算2'		試算3'		試算4'	
小歯		$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅
t_1	-22.5	+1.25	40%	+1.125	38%	+0.75	35%	+0.75	40%	+1.1	40%
t_2	-13.5	+0.75	40%	+0.75	42%	+0.75	38%	-0.75	40%	+0.9	40%
t_3	-4.5	+0.25	40%	+0.375	38%	+0.75	42%	+0.75	40%	+0.1	40%
t_4	+4.5	-0.25	40%	-0.375	38%	-0.75	42%	-0.75	40%	0	40%
t_5	+13.5	-0.75	40%	-0.75	42%	-0.75	38%	+0.75	40%	-0.9	40%
t_6	+22.5	-1.25	40%	-1.125	38%	-0.75	35%	-0.75	40%	-1.1	40%
バ 隣接極	(1.6)							○		3極(1.0)	
ナ 対角極	(1.6)	○		○				○			
ン 対称極						○		○			
ズ											
軸対称性		○		○		○		○		○	

【0094】表3において、基準角と $\delta\theta$ の和は小歯 t_k の巻線極中心線からの角度 θ_k になる。また、等ピッチは図7A、試算1'は図7Bに相当する。試算2'は軸対称にして小歯幅を変化させた場合、試算3'は全てのケースで差が1.5度になる場合である。

【0095】小歯数6個を3個の組み合わせ二つに分けて、3個の中でバランスをとった例を図9Cに示す。ここでは、 V_1 、 V_3 、 V_5 と V_2 、 V_4 、 V_6 が組となり、其の中で互いに120度のベクトル関係でバランスしている。表3の試算4'は、このときの小歯配置を示す。ここでは3個のベクトルが等しい歯幅で均等に120度間隔で並んでいるが、この内の1個、例えば V_1 または V_6 の歯幅を大きくし、他の二つ V_3 、 V_5 または V_4 、 V_6 の間隔を狭くして、3ベクトル間でバランスをとることも可能である。

【0096】いずれにしても、第3次高調波でバランスをとる場合は、第6次高調波の2倍の偏差角になっている。

【0097】これまでは、コギングトルクに関する第6次高調波あるいは電流トルク歪みに関係する第3次高調波をそれぞれ単独で低減する方法について考察してきたが、同時に低減することも可能である。表1より、問題となるパーミアンスの高調波成分は、第3次と第5次が電流トルクの歪みに関係し、第6次がコギングトルク

合もこの特殊例に相当する。

【0088】この方式による第3次高調波トルク消去法をまとめると次のようになる。

【0089】(1) ペアとなる各小歯の第3次高調波における偏差角 $\delta\theta$ の差を電気角で180度にする。

【0090】(2) 上記各ペアとなる小歯の幅は互いに等しくする。

【0091】ただし実際問題として、各小歯の幅は鉄芯の対称性を保つ意味から全て同一寸法にするのが好ましい。

【0092】表2に対応する第3次高調波平面における試算例を表3に示す。

【0093】

【表3】

に關係する。通常高調波成分は次数が低いほど大きいので、ここでは第3次成分の影響が最も大きいと考えられる。

【0098】そこで、第3次と第6次あるいは第3次と第5次の同時消去について検討する。まず、第3次高調波平面でバランスした2ベクトルの組3個を第6次高調波平面でバランスさせることを考える。第3次高調波平面で180度(機械角で1.5度)離れた2ベクトルは、第6次高調波平面では同相で一致する2ベクトルになり、第6次高調波平面で120度(機械角で0.5度)離れた3ベクトルは、第3次高調波平面では60度離れた3ベクトルになる。

【0099】この関係を念頭において表2、表3を眺めると、表3の等ピッチ2'は V_1 と V_4 、 V_2 と V_5 、 V_3 と V_6 が第3次高調波平面で180度離れていると共に、第6次高調波平面では V_1 、 V_2 、 V_3 と V_4 、 V_5 、 V_6 がそれぞれ120度づつ離れてバランスする関係にあり、第3次と第6次高調波平面で同時にバランスしていることがわかる。

【0100】図9Aのベクトル関係を第6次高調波平面で示すと図10のようになり、第6次高調波平面では二組の3ベクトルが重なっていることがわかる。

【0101】また、図11はこのときの小歯の配置を示している。

【0102】いま一つの見方は、第3次高調波平面でバランスした3ベクトルの組二つを第6次高調波平面でバランスさせる方法である。ところが、第3次高調波平面で120度（機械角で1.0度）離れた2ベクトルは第6次高調波平面では240度離れ、第3次高調波平面で-120度離れた2ベクトルは第6次高調波平面で-240度=120度離

れるので、結局第3次高調波平面でバランスした3ベクトルは第6次高調波平面でも自動的にバランスすることになるのである。従って、表3の試算例4'がこの条件を満足することになる。これを表4に再掲する。

【0103】

【表4】

表4（単位：機械角 度）

機種	基準角	等ピッチ2		試算4'		試算5		試算6		試算7	
		$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅
小歯											
t ₁	-22.5	+1.25		+1.1	40%	+1.0	40%	+1.45	40%	+1.35	40%
t ₂	-13.5	+0.75	40%	+0.9	40%	+1.0	40%	+0.55	40%	+0.75	40%
t ₃	-4.5	+0.25	40%	+0.1	40%	0.0	40%	+0.45	40%	+0.25	40%
t ₄	+4.5	-0.25	40%	-0.1	40%	0.0	40%	-0.45	40%	-0.25	40%
t ₅	+13.5	-0.75	40%	-0.9	40%	-1.0	40%	-0.55	40%	-0.75	40%
t ₆	+22.5	-1.25	40%	-1.1	40%	-1.0	40%	-1.45	40%	-1.35	40%
第3次調波バランス		2極		3極		3極		3極		2極	
第5次調波バランス								2極		3極	
第6次調波バランス		3極		3極		3極		3極			
備考		図10				図12		図14		図15	

【0104】この場合の特殊例として、表4の試算5は第3次および第6次高調波平面で3ベクトルが重なる例である。この時のベクトル関係を図12に示す。

【0105】引き続き、第5次高調波平面におけるバランスを検討する。まず第3次高調波平面でバランスした3ベクトルを第5次高調波平面でバランスさせることを考える。第5次高調波平面で180度離れたベクトルは、第3次高調波平面では $180 \times 3 / 5 = 108$ 度になることを考慮すれば、図13のベクトル関係が得られる。この場合は、表4の試算6に相当し、自動的に第6次高調波でもバランスするので、都合第3次、第5次、第6次高調波でバランスすることになる。

【0106】図14はこの場合の小歯構成を示す図である。

【0107】第5次高調波平面で3ベクトルをバランスさせ、第3次高調波平面で2ベクトルをバランスさせた例を図15に示す（試算7）。第5次高調波平面で V_1 、 V_2 、 V_3 と V_4 、 V_5 、 V_6 の各3ベクトルがそれぞれの中でバランスしているのに対し、第3次高調波平面では V_1 と V_4 、 V_2 と V_5 、 V_3 と V_6 がそれぞれバランスすることになる。これらの状況をまとめて表4に示した。第3次、第5次、第6次の3種類の高調波平面でバランスする点で、試算6が最も優れているが、偏差角が最も大きくなるので、基本波の大きさが多少犠牲になると思われる。

【0108】小歯数が奇数の場合には、小歯対でバランスをとると1個端数が出ることになり不都合を生じるので、端数となる1個を他の任意の小歯対と併合してバランスをとる必要がある。図16のような7個の小歯の場合、その間のベクトル関係は図17に示すようになる。ここでは、 V_2 、 V_4 、 V_6 の3ベクトル内でバランスさせ、 V_1 と V_5 、 V_3 と V_7 の2対のベクトル間でそれぞれバランスをとっている。図17の関係は、コギングトルクに対応する第6次高調波平面、トルク波形歪み

に関係する第3次高調波平面とも全く同じベクトル配置となる。回転子磁極の歯数が40の場合の両者に対する機械角の関係を表5に示す。これまでと同様に、基準角度と $\delta\theta$ の和が、小歯 t_k の巻線極中心線からの角度 θ_k になる。歯幅は、回転子小歯ピッチに対するパーセントで示した。

【0109】

【表5】

表5（単位：機械角 度）

機種	基準角	第6次		第3次	
		$\delta\theta$	歯幅	$\delta\theta$	歯幅
小歯					
t ₁	-27.0	+0.63	40%	+1.26	40%
t ₂	-18.0	+0.5	40%	+1.0	40%
t ₃	-9.0	+0.12	40%	+0.24	40%
t ₄	0	0.0	40%	0.0	40%
t ₅	+9.0	-0.12	40%	-0.24	40%
t ₆	+18.0	-0.5	40%	-1.0	40%
t ₇	+27.0	-0.63	40%	-1.26	40%
2ベクトル間バランス角		0.75		1.5	
3ベクトル間バランス角		0.75		1.5	
対称性		○		○	

【0110】2ベクトル間のバランス角は、それぞれの高調波平面で180度になるための機械角を示す。又、3ベクトル間のバランス角は、120度になるための機械角である。なお、3ベクトル間のバランスは、歯幅が異なる場合も可能であり、その場合はベクトル間角度も120度とは違ったものになる。

【0111】詳細は省略するが、この場合も複数次数の高調波平面で同時にバランスをとることが可能である。

【0112】

【課題を解決するための手段】本発明の3相ハイブリッド形ステッピングモータは、略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらして、軸方向にNS

2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を2個の小歯の組の少なくとも3群で構成し、それぞれの組の2個の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように夫々の組間の小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする。

【0113】また、本発明の3相ハイブリッド形ステッピングモータは、略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を3個の小歯の組の少なくとも2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする。

【0114】また、本発明の3相ハイブリッド形ステッピングモータは、略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を、2個の小歯の組の少なくとも3群で構成し、それぞれの組の2個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように夫々の組間の小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする。

【0115】また、本発明の3相ハイブリッド形ステッピングモータは、略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極

の先端に設けた少なくとも6個の小歯を、3個の小歯の組の少なくとも2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする。

【0116】また、本発明の3相ハイブリッド形ステッピングモータは、略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を3個の小歯の組の少なくとも2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、各組の小歯の第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする。

【0117】また、本発明の3相ハイブリッド形ステッピングモータは、略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を3個の小歯の組の少なくとも2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、各組の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする。

【0118】また、本発明の3相ハイブリッド形ステッピングモータは、略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極

の先端に設けた少なくとも6個の小歯を3個の小歯の組2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、2群間で対応する2個の小歯のパーミアンスの第5次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする。

【0119】また、本発明の3相ハイブリッド形ステッピングモータは、略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の少なくとも6個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらして、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも6個の小歯を3個の小歯の組2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第5次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、2群間で対応する2個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめたことを特徴とする。

【0120】また、本発明の3相ハイブリッド形ステッピングモータは、略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に奇数個の少なくとも7個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらして、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブリッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも7個の小歯を3個の小歯の組と2個の小歯の少なくとも2組の少なくとも3群で構成し、それぞれの組の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように配置したことを特徴とする。

【0121】また、本発明の3相ハイブリッド形ステッピングモータは、略円環状ヨークの内周に6個の磁極を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に奇数個の少なくとも7個の小歯を設けた固定子と、その外周に複数個の小歯を等ピッチで設けた2個の回転子磁極を、前記小歯の配設ピッチの1/2ピッチずらして、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石の端面に固着した回転子とより成り、上記回転子を上記固定子と空隙を介して対向した3相ハイブ

リッド形ステッピングモータにおいて、前記固定子磁極の先端に設けた少なくとも7個の小歯を3個の小歯の組と2個の小歯の少なくとも2組の少なくとも3群で構成し、それぞれの組の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように配置したことを特徴とする。

【0122】

【発明の実施の形態】以下図面によって本発明の実施例を説明する。

【0123】本発明の第1の実施例においては、3相ハイブリッド形ステッピングモータを、略円環状ヨーク1の内周に6個の磁極2を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線3を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に複数個の6個の小歯4を設けた固定子5と、その外周に複数個の小歯6を等ピッチで設けた2個の回転子磁極7を、前記小歯6の配設ピッチの1/2ピッチずらして、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石8の端面に固着した回転子9とにより構成し、上記回転子9を回転自在に軸支し上記固定子5と空隙を介して対向し、前記固定子磁極2の先端に設けた6個の小歯4を2個の小歯の組3群で構成し、それぞれの組の2個の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように夫々の組間の小歯のピッチを互いに異ならしめる。

【0124】本発明の他の実施例においては、上記6個の小歯を3個の小歯の組2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめる。

【0125】本発明の更に他の実施例においては、上記6個の小歯を、2個の組3群で構成し、それぞれの群の2個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように夫々の組間の小歯のピッチを互いに異ならしめる。

【0126】本発明の更に他の実施例においては、上記6個の小歯を3個の組2群で構成し、それぞれの群の3個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめる。

【0127】本発明の更に他の実施例においては、上記6個の小歯を3個の組2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、各組の小歯の第6次高調波平面におけるベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめる。

【0128】本発明の更に他の実施例においては、上記6個の小歯を3個の組2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにする

と共に、各組の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめる。

【0129】本発明の更に他の実施例においては、上記6個の小歯を3個の組2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、2群間で対応する2個の小歯に含まれる小歯のパーミアンスの第5次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめる。

【0130】本発明の更に他の実施例においては、上記6個の小歯を3個の組2群で構成し、それぞれの組の3個の小歯のパーミアンスの第5次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるようにすると共に、2群間で対応する2個の小歯に含まれる小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように各組内の小歯のピッチを互いに異ならしめる。

【0131】本発明の他の実施例においては、略円環状ヨーク1の内周に6個の磁極2を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に奇数個の7個の小歯を設けた固定子5と、その外周に複数個の小歯6を等ピッチで設けた2個の回転子磁極4を、前記小歯6の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石8の端面に固着した回転子9とにより構成し、上記回転子9を回転自在に軸支し上記固定子5と空隙を介して対向し、前記固定子磁極2の先端に設けた7個の小歯を3個の小歯の組と2個の小歯の2組の3群で構成し、3個の組の小歯のパーミアンスの第6次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように配置する。

【0132】本発明の他の実施例においては、略円環状ヨーク1の内周に6個の磁極2を等間隔に配置し、該磁極の夫々に巻線を巻装して3相巻線を形成し、かつ該磁極の先端に奇数個の7個の小歯を設けた固定子5と、その外周に複数個の小歯6を等ピッチで設けた2個の回転子磁極4を、前記小歯6の配設ピッチの1/2ピッチずらせて、軸方向にNS2極に磁化した永久磁石8の端面に固着した回転子9とにより構成し、上記回転子9を回転自在に軸支し上記固定子5と空隙を介して対向し、前記固定子磁極2の先端に設けた7個の小歯を3個の小歯の組と2個の小歯の2組の3群で構成し、3個の組の小歯のパーミアンスの第3次高調波平面におけるパーミアンスベクトルの和が実質的に零となるように配置する。

【0133】

【発明の効果】本発明になる3相ハイブリッド形ステッピングモータは上記のような構成であるから、巻線極の先端に設けられた小歯の配置を、第3次調波平面ベクトルと第5次調波平面ベクトルおよび第6次調波平面ベク

トルの単独あるいは組み合わせ双方において2個又は3個の小歯の対によりバランスさせ、コギングトルク及び電流トルクの第3次調波歪みを減少させることができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1A】従来の12巻線極の3相ハイブリッド形ステッピングモータの縦断正面図である。

【図1B】図1Aに示す3相ハイブリッド形ステッピングモータの左側面図(N極側)である。

【図1C】図1Aに示す3相ハイブリッド形ステッピングモータの右側面図(S極側)である。

【図2A】従来の6巻線極の3相ハイブリッド形ステッピングモータの縦断正面図である。

【図2B】図2Aに示す3相ハイブリッド形ステッピングモータの左側面図(N極側)である。

【図2C】図2Aに示す3相ハイブリッド形ステッピングモータの右側面図(S極側)である。

【図3】3相6巻線極ハイブリッド形ステッピングモータの等価磁気回路図である。

【図4A】6巻線極の3相ハイブリッド形ステッピングモータのN極側集約等価磁気回路図である。

【図4B】6巻線極の3相ハイブリッド形ステッピングモータのS極側集約等価磁気回路図である。

【図5】巻線極の小歯配置図である。

【図6】等ピッチバーニアの第6次高調波平面ベクトルのバランス状態を示す図である。

【図7A】不等ピッチバーニアの第6次高調波平面ベクトルの2ベクトル間バランス状態を示す図である。

【図7B】不等ピッチバーニアの第6次高調波平面ベクトルの3ベクトル間バランス状態を示す図である。

【図8】図7Bにおける小歯の配置を示す図である。

【図9A】等ピッチバーニアの第3次高調波平面ベクトルのバランス状態を示す図である。

【図9B】第3次高調波電気角度平面における2ベクトル間磁気バランスの状態を示す図である。

【図9C】第3次高調波電気角度平面における3ベクトル間磁気バランスの状態を示す図である。

【図10】等ピッチバーニア2における第6次高調波平面ベクトルのバランス状態を示す図である。

【図11】図10の小歯の配置を示す図である。

【図12】試算5の第3次高調波平面ベクトルのバランス状態を示す図である。

【図13A】試算6の第3次高調波平面ベクトルのバランス状態を示す図である。

【図13B】試算6の第4次高調波平面ベクトルのバランス状態を示す図である。

【図14】試算6の小歯の構成を示す図である。

【図15A】試算7の第3次高調波平面ベクトルにおけるバランス状態を示す図である。

【図15B】試算7の第5次高調波平面ベクトルにおけ

るバランス状態を示す図である。

【図16】小歯数7個の磁極構成を示す図である。

【図17】小歯数7個の場合のベクトルバランスの状態を示す図である。

【符号の説明】

F_u	巻線の相別の起磁力
F_v	巻線の相別の起磁力
F_w	巻線の相別の起磁力
F_1	巻線極の起磁力
F_2	巻線極の起磁力
F_3	巻線極の起磁力
F_4	巻線極の起磁力
F_5	巻線極の起磁力
F_6	巻線極の起磁力
N_1	N極側の巻線極
N_2	N極側の巻線極
N_3	N極側の巻線極
N_4	N極側の巻線極
N_5	N極側の巻線極
N_6	N極側の巻線極
S_1	S極側の巻線極
S_2	S極側の巻線極
S_3	S極側の巻線極
S_4	S極側の巻線極
S_5	S極側の巻線極
S_6	S極側の巻線極
P_1	巻線極のパーミアン
P_2	巻線極のパーミアン
P_3	巻線極のパーミアン
P_4	巻線極のパーミアン
P_5	巻線極のパーミアン
P_6	巻線極のパーミアン

F_m	磁石の起磁力
P_m	磁石の内部パーミアン
t_1	各小歯
t_2	各小歯
t_3	各小歯
t_4	各小歯
t_5	各小歯
t_6	各小歯
t_7	各小歯
θ_1	各小歯の位置
θ_2	各小歯の位置
θ_3	各小歯の位置
θ_4	各小歯の位置
θ_5	各小歯の位置
θ_6	各小歯の位置
θ_7	各小歯の位置
V_1	各ベクトル
V_2	各ベクトル
V_3	各ベクトル
V_4	各ベクトル
V_5	各ベクトル
V_6	各ベクトル
V_7	各ベクトル
1	円環状ヨーク
2	磁極
3	巻線
4	小歯
5	固定子
6	小歯
7	回転子磁極
8	永久磁石
9	回転子

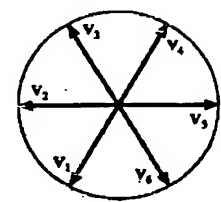
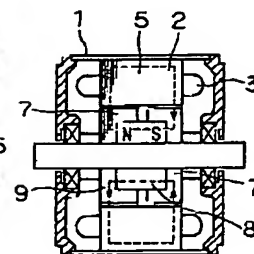
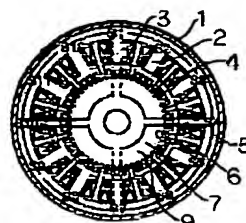
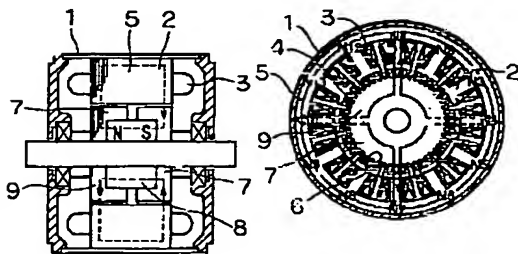
【図1A】

【図1B】

【図1C】

【図2A】

【図6】

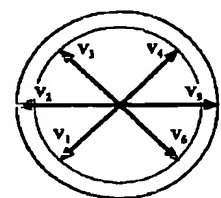
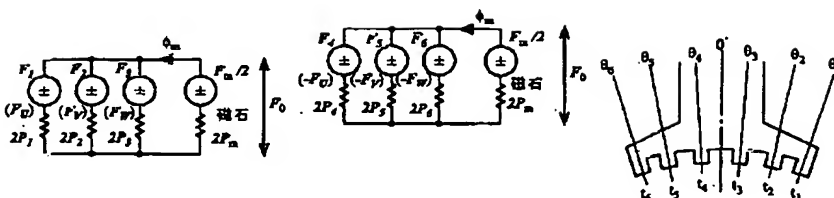


【図4A】

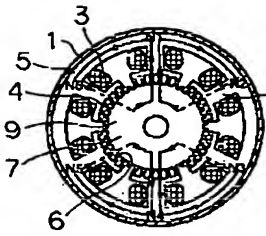
【図4B】

【図5】

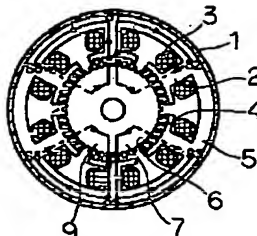
【図7A】



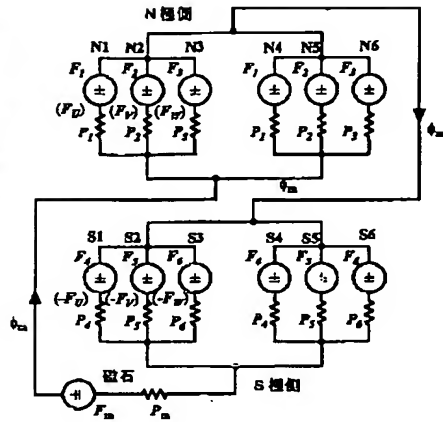
【图2B】



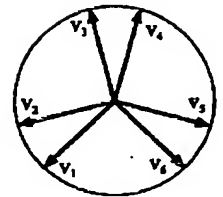
【图2C】



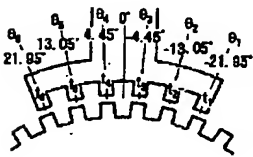
【图3】



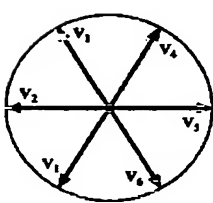
【图7B】



【图8】



【图9A】

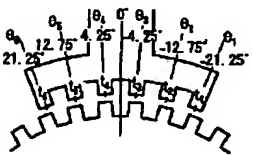


【图9B】

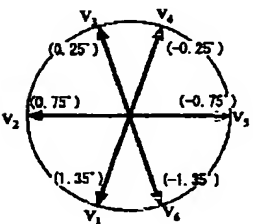
【图9C】

【图10】

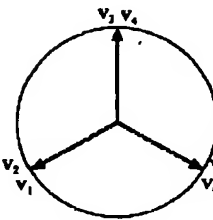
【图11】



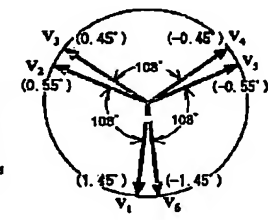
【图15A】



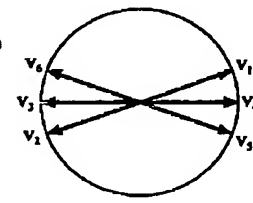
【图12】



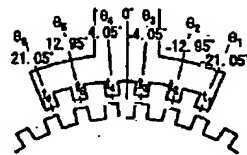
【图13A】



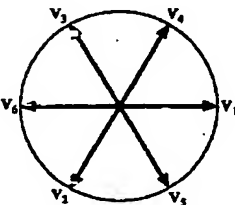
【图13B】



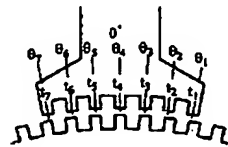
【图14】



【图15B】



【图16】



【图17】

